

УДК 662.613.1

ТЕХНОЛОГИЯ КАРБОНИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВ КАК СПОСОБ СЕКВЕСТРАЦИИ CO₂

Е. А. Ткаченко¹, Т. Ф. Богатова², М. Б. Чернова³

^{1,2,3} Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

¹ 07katya007@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены вопросы секвестрации вредных выбросов. Проанализированы перспективы развития технологии карбонизации минералов для улавливания и связывания углекислого газа (CO₂). В статье описаны преимущества такого направления. Рассмотрены наиболее перспективные производства с точки зрения карбонизации отходов в результате поглощения ими CO₂.

Ключевые слова: минеральная карбонизация, улавливание и связывание CO₂

TECHNOLOGY OF PRODUCTION WASTE CARBONIZATION AS A METHOD FOR CO₂ SEQUESTRATION

E. A. Tkachenko¹, T. F. Bogatova², M. B. Chernova³

^{1,2,3} Ural Federal University named after the First
President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

¹ 07katya007@mail.ru

Abstract. The problems of sequestration of harmful emissions are considered. The prospects for the development of mineral carbonization technology for carbon dioxide (CO₂) capture and sequestration are analyzed. The article describes the advantages of this direction. The most promising industries are considered from the point of view of waste carbonization as a result of CO₂ absorption by them.

Keywords: mineral carbonation, CO₂ capture and sequestration

Улавливание и связывание углекислого газа (CO₂) включает ряд технологий, которые потенциально могут улавливать миллиарды

тонн CO_2 в год. Одной из перспективных технологий является карбонизация — процесс, в котором CO_2 химически реагирует с материалами, содержащими Ca и (или) Mg с образованием стабильных карбонатов.

Теоретическое максимальное поглощение углекислого газа t_{CO_2} (в мас. %) может быть рассчитано с использованием модифицированной формулы Steinour [1]:

$$t_{\text{CO}_2 \text{ поглощ}} = 0,785 \cdot (\% \text{CaO} - 0,53 \cdot \% \text{CaCO}_3 - 0,7 \cdot \% \text{SO}_3) + \\ + 1,091 \cdot \% \text{MgO} + 0,71 \cdot \% \text{Na}_2\text{O} + 0,468 \cdot (\% \text{K}_2\text{O} - 0,632 \cdot \% \text{KCl}).$$

Сырьевым источником, содержащим CaO и (или) MgO, могут быть твердые отходы крупномасштабных промышленных процессов, таких как тепловые электростанции, работающие на угле или сланце, установки для сжигания твердых отходов, цементные заводы, сталелитейная и бумажная промышленность. Такой подход имеет ряд преимуществ:

- 1) Ca-Mg-содержащие отходы и выбросы CO_2 образуются в одном и том же или связанных технологических процессах;
- 2) эти отходы химически менее стабильны, чем геологические породы, поэтому требуют более низкой степени предварительной обработки и менее энергоемких рабочих условий для реализации процесса карбонизации;
- 3) опасные отходы могут быть переклассифицированы посредством нейтрализации pH и минерального преобразования и повторно использоваться в других отраслях промышленности.

Далее рассматриваются наиболее перспективные производства с точки зрения карбонизации отходов в результате поглощения ими CO_2 .

Сталеплавильные процессы производят значительное количество CO_2 (0,28–1 т CO_2 /т стали), что составляет 6–7 % глобальных выбросов CO_2 [2]. Кроме того, в глобальном масштабе эти процессы производят около 315–420 Мт шлака в год. Шлаки образуются в результате взаимодействия между технологическими добавками (в первую очередь кремнеземом) и известью на различных стадиях производства стали и состоят в основном из Ca-, Mg-, Al-силикатов и оксидов в различных комбинациях. Использование повышенных давлений и температур, добавок и ультразвуковой обработки значительно улучшает кинетику карбонизации, но также увеличивает затраты. Так, использование раствора HNO_3 привело к быстрому извлечению Ca и Mg из шлаков

конвертерных и электродуговых печей с улавливающей способностью 0,26–0,38 т CO_2 на т шлака.

Установки для сжигания бытовых отходов производят как твердые остатки, так CO_2 . При этом содержание Са и Mg в этих отходах недостаточно для значительной секвестрации CO_2 , и метод карбонизации минералов в основном применяется для достижения химически стабильной структуры с улучшенными характеристиками для различных применений (например, вторичный строительный материал в дорожных основаниях).

Угольные электростанции обеспечивают около 40 % мировой электроэнергии, генерируя ежегодно 12 тыс. Мт CO_2 и 600 Мт летучей золы [3]. Основными компонентами летучей золы каменного угля являются SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO (1–3 %) и CaO (5–10 %) и различное количество несгоревшего углерода. Максимальный потенциал связывания CO_2 каменноугольной золы относительно низок — 9 мас. %, но он может достигать 43–49 % для богатого кальцием бурого угля или сланцевой золы. Предварительный экономический анализ процесса показал, что улавливание 90 % CO_2 на электростанции мощностью 532 МВт будет стоить около 11–21 долл. за тонну CO_2 при улавливающей способности 0,1–0,2 т CO_2 на тонну золы.

Цементная промышленность производит 0,15–0,20 т цементной пыли на тонну цемента (мировое производство 2,8 Гт) и 5 % мировых выбросов CO_2 [2]. Цементная пыль характеризуется как потенциально опасные отходы из-за своей едкой природы и сбрасывается на соответствующие свалки или склады. Типичная пыль содержит 38–48 % CaO и 1,5–2,1 % MgO, но значительное количество ее уже карбонизировано и содержит 46–57 % CaCO_3 . Цементная байпасная пыль, которая удаляется после обжига печи, имеет гораздо более низкое содержание карбонатов и, следовательно, гораздо более высокий потенциал улавливания CO_2 (0,5 т CO_2 на т пыли).

Добывающая промышленность в процессе разработки месторождений асбеста, меди, никеля, платины и др., образуют хвосты, пригодные для карбонизации минералов. Помимо связывания CO_2 , обработка карбонизацией также улучшает свойства отходов, особенно в случае хвостов асбеста и красного шлама, обеспечивая более безопасное захоронение или повторное использование.

Целлюлозно-бумажное производство приводит к образованию нескольких типов щелочных отходов, которые обычно содержат

45–82 % свободного CaO , поэтому являются подходящими сорбентами для карбонизации минералов [2]. Целлюлозные заводы также производят CO_2 , который можно использовать для карбонизации отходов. Произведенный CaCO_3 можно использовать в целлюлозно-бумажной промышленности или продавать как побочный продукт с добавленной стоимостью. Интенсивность карбонизации составляет 0,16–0,27 т CO_2 /т отходов при 20–30 °С и 2–10 атм в течение 2–72 ч.

Список источников

1. A review of mineral carbonation technologies to sequester CO_2 / A. Sanna [et al.] // Chem Soc Rev. 2014. № 43. P. 8049–8080.
2. The CO_2 -binding by Ca-Mg-silicates in direct aqueous carbonation of oil shale ash and steel slag / M. Uibu [et al.] // Energy Procedia. 2011. Vol. 4. P. 925–932.
3. Carbon capture and storage using alkaline industrial wastes / E. R. Bobicki [et al.] // Progress in Energy and Combustion Science. 2012. Vol. 38, iss. 2. P. 302–320.